

水库调度和营养物消减关系的探讨

贾海峰¹,程声通¹,丁建华²,李京峰¹ (1.清华大学环境科学与工程系环境模拟与污染控制联合国家重点实验室,北京 100084, E-mail: jhf@tsinghua.edu.net; 2.北京市环境监测中心,北京 100044)

摘要:以北京密云水库为研究背景,研究和分析水库的水质分布特征,在此基础上研究水库调度与富营养物质消减之间的关系.并在对实际水质监测数据和模型模拟结果分析的基础上,提出了水库富营养化控制中的水库调度措施,即结合水库的防洪调度,采用底层放水的方式去除营养负荷.最后还分析该运行管理措施的可行性和应注意的几个问题.

关键词:水库调度;营养负荷消减;密云水库

中图分类号:X524 文献标识码:A 文章编号:0250-3301(2001)04-04-0104

Relationship between Eutrophication Control and Reservoir Operation

Jia Haifeng¹, Cheng Shengtong¹, Ding Jianhua², Li Jingfeng¹ (1. Environmental Simulation and Pollution Control State Key Joint Laboratory, Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 10084, China E-mail: jhf@tsinghua.edu.cn; 2. Beijing Municipal Environmental Monitor Center, Beijing 100044, China)

Abstract: Choosing Miyun Reservoir as a research background, the spatial distribution characteristics of water quality in the reservoir were analyzed, and the relationship between reservoir operation and eutrophication control was discussed. With the assistance of water quality model and the monitored data, measures that wiping off the nutrients combined with the flood prevention operation was proposed. At last, the feasibility of the measure was also discussed.

Key words: reservoir operation; eutrophication control; Miyun Reservoir

1 水库水质分布特征

1.1 时间分布特征

水库中的污染物主要来自于上游入库河流.因此随着入库河流水质的变化,水库水质也会有相应的变化.一般来说,在年内,枯水期河流自净能力最小,水质最差;平水期居中;丰水期则自净能力最大,相应水质较好.但对于有些流域如果其点源问题不严重而非点源污染比较突出,这时丰水期的水质反而会不如枯水期和平水期.此外水库水质的时间分布还主要受气温、浮游植物生长等因素的影响.在密云水库,经初步分析*,非点源是主要的污染源,在年内汛期的污染负荷最大.以水库中 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度为 例,利用建立的基于 WASP5 的水库水质模型进行水质模拟*,1996 年在白河入口、潮河入

口、白河主坝前和潮河主坝前的年内浓度分布如图 1 所示.

1.2 竖向分层特征

对于深的湖泊或水库来说,由于太阳辐射等作用导致水体中温度分层.随着温跃层的出现,这种竖向的密度梯度能抑制动量、悬浮物、溶解物、营养物以及生物体的垂向输移.从而也影响到水库中的水动力特征以及生化过程^[1].进而引起水质的竖向分层.但是这种分层会随着季节的不同而不同.

以密云水库的营养物磷的浓度为例,根据

基金项目:北京市环境保护局项目(96005)

作者简介:贾海峰(1967~),博士,讲师,主要从事环境系统分析、3S 技术在环境中的应用等方面研究.

收稿日期:2000-12-25

* 贾海峰, GIS 强化的水库水质模拟及其在密云水库中的应用研究[博士学位论文].北京:清华大学,1999,23~35, 107~111.

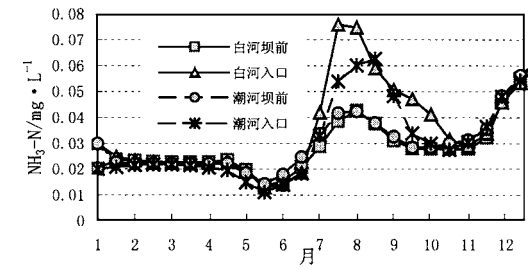


图 1 1996 年密云水库内 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度的模拟结果

Fig.1 The simulation results of $\text{NH}_3\text{-N}$ in Miyun Reservoir in 1996

1986 年的水质监测^[2],无机磷和总磷的垂直分布如图 2 和图 3 所示,在汛前(5 月份),下层的无机磷和总磷浓度明显大于表层,并且在汛前,浮游植物可以直接利用的无机磷浓度明显大于汛期(7 月)和汛后(10 月)。

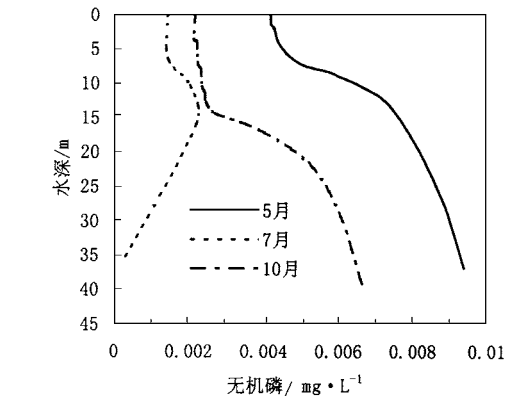


图 2 无机磷垂直分布^[3]

Fig.2 The vertical distribution of inorganic phosphorous

此外,在以前的研究中曾利用美国工程兵团开发的 WQRRS 模型对密云水库存在网箱养鱼情景下的水质进行了模拟预测*,结果也表明水库营养物浓度在竖向存在明显分层,深层的营养物浓度明显高于表层,如表 1 所示。

1.3 平面分布特征

对于水面较大的水库,其污染源的空间分布不同,在不同的水库调度方式下其水动力学特征水同,这就造成水质在平面上也有一定的空间分布.以密云水库叶绿素 a 的空间分布为例,根据密云水库的水质模拟结果*,密云水库在 1996-06 月底叶绿素 a 的空间分布如图 4 所示。

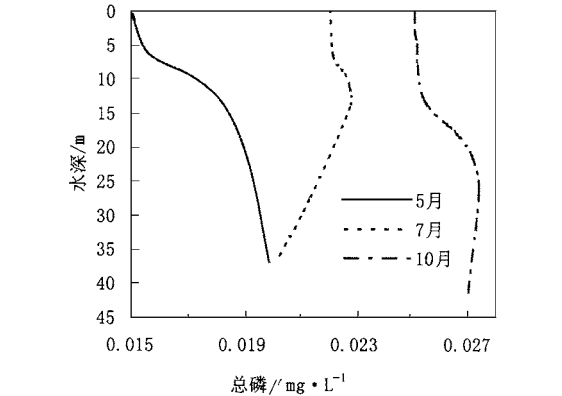


图 3 总磷的垂直分布^[3]

Fig.3 The vertical distribution of total phosphorus

表 1 存在网箱养鱼情况下密云水库的水质模拟预测¹⁾/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

Table 1 The water quality simulation of Miyun Reservoir in the existing of cage fishery

时间	位置	DO	$\text{NH}_3\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{PO}_4\text{-P}$	pH
1995-08	表层	7.6	0.065	1.652	0.020	0.043	8.5
	深层	0.1	0.088	2.006	0.025	0.128	7.5
1995-12	表层	8.8	0.100	1.828	0.033	0.092	8.5
	深层	7.4	0.115	1.783	0.035	0.095	7.9
1999-08	表层	8.8	0.096	1.710	0.031	0.046	9.1
	深层	0.0	0.144	2.979	0.038	0.261	7.5
1999-12	表层	12.5	0.186	2.272	0.058	0.165	8.5
	深层	0.0	0.397	2.963	0.048	0.299	7.5

1) 模拟的网箱养鱼规模是原规划的规模,即从 1990 年的 2.6hm^2 增加至 1995 年 4.6hm^2 ,此后保持稳定。

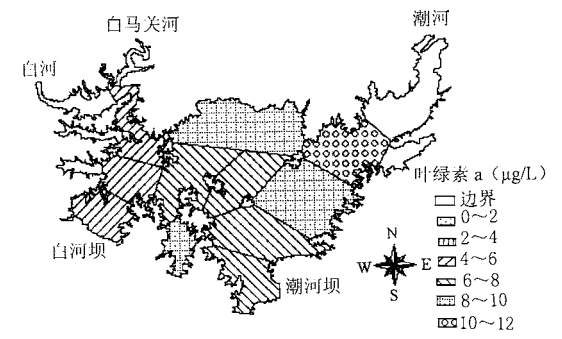


图 4 密云水库 1996-06 叶绿素 a 模拟值的空间分布

Fig.4 The simulated spatial distribution of chlorophyll a in Miyun Reservoir in June, 1996

* 北京市环境保护监测中心.密云水库水源保护规模研究.1993.

由于各入库河道流域内地质、地貌不同,经济发展水平差别,因此各河道的污染物负荷不同。在潮河流域多为丘陵地区,人口密度大,入库污染负荷大,因此在整个大库库区中,潮河库区水质一般较差;而白河流域多为山区,人口密度小,河流径流量大,坡降大,故入库污染负荷较小,因此一般白河库区水质要好于潮河库区;内湖是相对封闭的水体,此外其中还分布着一些网箱养鱼和旅游度假设施,因此其水质相比要差于相邻的大库水质,这反映在叶绿素 *a* 的空间分布上,就是潮河入库口处浓度最高,随后逐渐变低;但潮河库区的叶绿素 *a* 水平总体要高于白河库区;反映在内湖地区,其叶绿素 *a* 的水平高于邻近的大库水域的叶绿素 *a* 值。

2 水库调度与营养物消减的关系

通过上述分析可看出,水库内水质存在一定的时空分布规律。如果能够利用这种水质时空分布特征,采用一定的水库调度方式,则可以影响水库中的营养物的水平及其分布,进而影响水库的富营养化进程。

2.1 时间上的调度

时间上的调度一般是指在不同时间,通过水库泄水建筑物的关启对河道来水进行调节。根据时间上的调度方式,水库可分为年调节水库和多年调节水库。

对于上游流域工业和城市污水排放较少的水库,其营养负荷主要来自于汛期暴雨径流,基流中的营养负荷较小,因此汛期拦蓄洪水时也将入库营养物质拦蓄在水库中。一般水库水流流场会呈现出主流特征,并且有时入流、出流之间会出现“短路”现象。如水库的汛期或汛后有大量的泄水,则入库营养物质中很大一部分就会沿着原主河道排泄出去;相反,则拦蓄的营养物质大多将滞留在水库中,积聚起来供下一个生长季节浮游植物生长使用。因此汛后有无大量泄水一般可影响下年的初夏,即本年度大量营养负荷入库前的浮游植物生物量多少。

对于密云水库来说,最初的是年调水库,后为充分发挥水库的供水效益,运行模式变为多

年调节。现以 1995 ~ 1997 年的调度方式为例,说明水库调度对水库浮游植物生长的影响。

密云水库 1995 ~ 1997 年月入库、出库水量如图 5 所示。由于 1995 年年初水位较高,为了在汛前使水位达到汛限水位 150 m,在 6 月份大量弃水^[3]。结果由于 1995 年汛期来水较少,只有 3.7 亿 m^3 ,因此 1995-07 ~ 1996-08 均无大量放水,这样上游入库的营养物质大都积聚在水库中供 1996 年藻类生长利用。1996 和 1997 年水库水质的模拟结果^{*},反映了上述现象。以潮河坝前分区叶绿素 *a* 的年内分布为例,如图 6 所示,1996 年叶绿素 *a* 高峰出现出 7 月初,并且 10 月初的第二峰明显低于第一峰的数值;而在 1996-08 月由于上游来水很大,从 1996-09 ~ 1997-06 水库放水量均较大,入库的营养物很多就又随着放水排出水库,从而使 1997 年春季水库内的营养物质减少,反映在水库叶绿素 *a* 的年内变化上就是年内叶绿素 *a* 第一个高峰与第二个高峰持平。

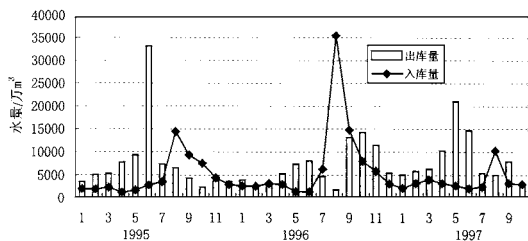


图 5 密云水库 1995 ~ 1997 年月入库量与出库量

Fig. 5 The monthly inflow and outflow of Miyun Reservoir in 1995 ~ 1997

2.2 空间上的调度

水库空间上的调度包括平面调度和竖向调度。水库均可由闸坝控制出流,对于水库来说,竖向分层放水是可能和可行的。再者,水库一般均有若干个入库支流,并且也有若干个放水建筑物,因此从平面上进行调度也是可能的。

水库的这种可调度性对水库富营养化控制是很有意义的。在温度分层的水体中,水质一般也有分层,尤其是氮、磷等营养物质。如果能在水库春季“翻池”前将水库底层营养物浓度较高的水排放出去,则可有效地减少库区营养负荷;

又如果水库的某个支流水质较差,为了保证库区水质少受影响,可利用库区流场的主流特征和密度流特征将其就近排出水库。

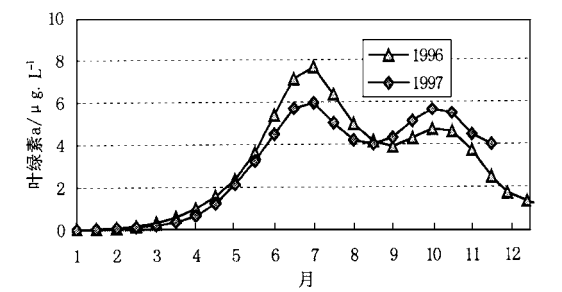


图 6 潮河坝前分区 1996、1997 年叶绿素 a 模拟值比较
Fig. 6 The comparison of simulated values of chlorophyll a between 1996 and 1997 in Miyun Reservoir

3 结合防洪调度去除营养负荷

一般来说,防洪是水库的重要功能之一.对于密云水库来说,为了防洪,每年汛前都必须将水位降至汛限水位 150 m.进入 90 年代以来,密云水库处于高水位运行状态,如连续几年上游来水较丰,为保证安全度汛,必须在汛前弃水.近几年就出现了几次水库弃水^[4],比如在 1995-06-01 ~ 06-16,密云水库开闸放水,将水库水位由 151.82 m 降至 150.0 m,放水 2.67 亿 m³,最大放水流量 246 m³/s^[3].但在以前的防洪调度,仅考虑防汛,下泄的水为表层水。

通过前面对水库水质竖向分布特征的讨论和分析,可以看出如在汛期前结合防洪调度,利用排放底层水,可以有效地去除水库中的营养物.此外,根据有关研究^[5],当水库分层放水时,受竖向密度分布的限制,水库内的流动会形成流动层和静止层 2 部分,从而保证了排放底层水时,排放的水基本上均为污染物浓度相对较高的底层水.因此,以 1986 年 5 月的水质监测数据(图 2)和 1999 年 12 月模拟的水质数据(表 1)为例,排放底层水与现在采取的排放表层水相比,可使无机磷排出量增加 1 倍左右.假设再出现 1 次 1995 年 6 月中旬的那次放水,以图 2 中 5 月的竖向监测数据为依据,利用传统的调度方式排放表层水,排放无机磷约为

1.1 t;如果排放底层水,则无机磷的排放量将约为 2.4 t,即将多消减无机磷负荷约 1.3 t.在浮游植物大量生长前(汛前)减少水体中营养物浓度有重大的意义,这可以显著降低一般出现于 6 月 ~ 7 月的年内浮游植物生物量峰值。

在密云水库的白河主坝和潮河主坝处都有现成的放空洞^[6],因此结合水库调度,利用放空洞排放底层水不需要太多工程.但是有几个问题需要注意,首先,由于放空洞一般是在水位较低的情况下使用的,现在为了富营养化控制而在高水位下运用,因此要作好安全性论证,在必要时采取一些工程措施保证其运行安全;其次由于放空洞下泄能力有限,除需要准确的水文预报支持外,在调度上要早作准备,合理安排,最好能在初春就开始排放底层水;还有,由于下泄的底层水水质较差,因此排出水应导入下游河道以供农业灌溉,而不能导入为城市供水的引水渠。

4 结论

水库水质具有一定时空分布特征,本文以密云水库为研究背景,研究了水库调度与营养物消减之间的关系.并在对实际水质监测数据和模型模拟结果分析的基础上,提出了水库富营养化控制中的水库调度措施,即结合水库的防洪调度,采用底层放水的方式去除营养负荷.指出如果在汛前排放底层水,与排放表层水相比将使无机磷排放量增加 1 倍左右,从而作到防洪调度兼顾富营养化控制.最后还分析和讨论了该运行管理措施的可行性和采用该措施时应注意的几个问题。

参考文献:

- 1 米科海诺,王敦春等译.水质及其控制.北京:中国水利水电出版社,1997.1 ~ 29.
- 2 金相灿,刘树坤,章宗涉等.中国湖泊环境(第三册).北京:海洋出版社,1995.400 ~ 401.
- 3 滕书堂.1995 年密云、官厅两大水库放水的启示.北京水利,1996,(3):7 ~ 10.
- 4 张彤,郭政宏.密云水库合理调度与弃水分析.北京水利,1997,(4):9 ~ 11.
- 5 刘少文,方子云.水库水温模拟初步研究.见:水利部水资源司.水资源保护论文选编(第一辑),1990.172 ~ 179.
- 6 冯寅,包鸿谋.密云水库与湖白河流域规划.见:中国水利学会,北京水利学会.密云水库论文集(1960 ~ 1990),1990.10 ~ 15.